

Dynamique d'une bordure forestière par suite de la hausse récente du niveau marin, rive sud-ouest du golfe du Saint-Laurent, Nouveau-Brunswick

Dynamics of a Forest Margin and the Recent Rise in Sea Level, Southwestern Gulf of St. Lawrence, New Brunswick

Dynamik eines Waldsaums als Folge der neueren Anhebung des Meeres-spiegels, Südufer des Sankt-Lorenz-Golfs, New Brunswick

Yves Bégin, Samuel Arseneault et Jean Lavoie

Volume 43, numéro 3, 1989

Le VI^e Congrès de l'Association québécoise pour l'étude du Quaternaire

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/032788ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/032788ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Bégin, Y., Arseneault, S. & Lavoie, J. (1989). Dynamique d'une bordure forestière par suite de la hausse récente du niveau marin, rive sud-ouest du golfe du Saint-Laurent, Nouveau-Brunswick. *Géographie physique et Quaternaire*, 43(3), 355-366. <https://doi.org/10.7202/032788ar>

Résumé de l'article

La transgression marine sur la côte sud du golfe du Saint-Laurent a notamment pour effet de provoquer la dégradation des marges forestières. Le déplacement de la ligne de rivage s'effectue à une vitesse moyenne de 1,11 m/an, correspondant ainsi à un taux de transgression marine de 10 à 50 cm/siècle. L'étude d'un site représentatif à la pointe Escuminac, au Nouveau-Brunswick, a permis de mettre en évidence les changements survenus au sein d'une bande forestière au cours des dernières décennies. Par l'analyse dendrochronologique et l'étude de la structure des populations, nous avons retracé les étapes de la régression de l'épinette rouge sous l'effet combiné de la transgression de la nappe d'eau marine et de la migration d'une plage qui lui est associée et d'autres perturbations non reliées à la dynamique littorale (feu et épidémies de tordeuse des bourgeons). La forêt étudiée tient son origine d'un feu datant du début du siècle. Elle a depuis été atteinte par deux épidémies de tordeuse l'une en 1914-17 et l'autre en 1954-58, tout en subissant progressivement les effets d'une humidité croissante. Les résultats indiquent que dans le processus de dépérissement des forêts, la transgression marine a joué un double rôle: celui de modifier les conditions de drainage des sols supra-riverains menant à la réduction de la croissance secondaire des arbres, et celui de limiter la régénération forestière après perturbation. L'analyse dendrochronologique permet ainsi de retracer sur une base spatiotemporelle l'ensemble des transformations ayant caractérisé la zone littorale au cours du dernier siècle.

DYNAMIQUE D'UNE BORDURE FORESTIÈRE PAR SUITE DE LA HAUSSE RÉCENTE DU NIVEAU MARIN, RIVE SUD-OUEST DU GOLFE DU SAINT-LAURENT, NOUVEAU-BRUNSWICK

Yves BÉGIN, Samuel ARSENEAULT et Jean LAVOIE; le premier et le troisième auteurs, Département de géographie et Centre d'études nordiques, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4; le deuxième auteur, Département d'histoire-géographie, Université de Moncton, Moncton, Nouveau-Brunswick E1A 3E9.

RÉSUMÉ La transgression marine sur la côte sud du golfe du Saint-Laurent a notamment pour effet de provoquer la dégradation des marges forestières. Le déplacement de la ligne de rivage s'effectue à une vitesse moyenne de 1,11 m/an, correspondant ainsi à un taux de transgression marine de 10 à 50 cm/siècle. L'étude d'un site représentatif à la pointe Escuminac, au Nouveau-Brunswick, a permis de mettre en évidence les changements survenus au sein d'une bande forestière au cours des dernières décennies. Par l'analyse dendrochronologique et l'étude de la structure des populations, nous avons retracé les étapes de la régression de l'épinette rouge sous l'effet combiné de la transgression de la nappe d'eau marine et de la migration d'une plage qui lui est associée et d'autres perturbations non reliées à la dynamique littorale (feu et épidémies de tordeuse des bourgeons). La forêt étudiée tient son origine d'un feu datant du début du siècle. Elle a depuis été atteinte par deux épidémies de tordeuse l'une en 1914-17 et l'autre en 1954-58, tout en subissant progressivement les effets d'une humidité croissante. Les résultats indiquent que dans le processus de dépérissement des forêts, la transgression marine a joué un double rôle: celui de modifier les conditions de drainage des sols supra-riverains menant à la réduction de la croissance secondaire des arbres, et celui de limiter la régénération forestière après perturbation. L'analyse dendrochronologique permet ainsi de retracer sur une base spatio-temporelle l'ensemble des transformations ayant caractérisé la zone littorale au cours du dernier siècle.

ABSTRACT *Dynamics of a forest margin and the recent rise in sea level, southwestern Gulf of St. Lawrence, New Brunswick.* Shoreline forests of the southern Gulf of St. Lawrence were influenced by recent sea transgression. Landward displacement of the shoreline reaches 1,11 m/yr, which corresponds to a rise in sea level of 10 to 50 cm/century. A representative site at the Pointe Escuminac, New Brunswick, has been studied in order to reconstruct the major changes in the forest margin during the last decades. By means of dendrochronological and population structure analysis, the stepwise regression of red spruce associated with a rise in sea level and a consequent landward migration of a beach crest, and other unrelated disturbances (forest fire and spruce bud worm infestations) are described. Fire modified the forest structure at the beginning of this century. It has also been affected by two insect infestations, in 1914-17 and 1954-58, and by a steady increase of the substratum moisture. As a result, a degradation of the forest margin occurred. Marine transgression plays a double role in the process: it modifies drainage conditions of the supra-littoral zone that reduces the secondary growth rates of trees as an effect, and it also limits post-disturbance forest regeneration. Dendrochronological analysis allows a time-space reconstruction of the major transformations in the littoral zone over this century.

ZUSAMMENFASSUNG *Dynamik eines Waldsaums als Folge der neueren Anhebung des Meeres-spiegels, Südufer des Sankt-Lorenz-Golfs, New Brunswick.* Die marine Transgression auf dem Südufer des Sankt-Lorenz-Golfs hat vor allem zu einer Abtragung der Waldsäume geführt. Die Verschiebung der Uferlinie vollzieht sich mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 1,11 m/Jahr und entspricht so einem marinen Transgressionsgrad von 10 bis 50 cm/Jh. Das Studium eines repräsentativen Platzes an der Pointe Escuminac, New Brunswick, erlaubte, die im Lauf der letzten Jahrzehnte in einem Waldsaum aufgetretenen Veränderungen offenzulegen. Mit Hilfe der dendrochronologischen Analyse und dem Studium der Struktur der Populationen haben wir die Etappen des Zurückgehens der Rottanne nachvollzogen, und dies unter der kombinierten Auswirkung der Transgression der Meeresfläche und der Wanderungsbewegung eines mit ihr verbundenen Strandes und anderen, nicht mit der Küstendynamik verbundenen Störungen (Feuer und Epidemien von Knospenfressenden Würmern). Der Untersuchte Wald ist nach einem Feuer am Anfang des Jahrhunderts entstanden. Seitdem ist er zweimal von Knospenwurmepliden befallen worden, einmal zwischen 1914-17 und das zweite Mal 1954-58, und gleichzeitig war er auch immer mehr einer zunehmenden Feuchtigkeit ausgesetzt. Die Ergebnisse lassen erkennen, dass die marine Transgression im Prozess des Verfalls der Wälder eine doppelte Rolle gespielt hat: nämlich die Drainage-Bedingungen der oberhalb des Ufers gelegenen Böden zu verändern, so dass das sekundäre Wachstum der Bäume reduziert wurde, und nach der Störung die Waldregeneration zu begrenzen.

INTRODUCTION

La régression de la côte orientale du continent nord-américain sous l'effet de la transgression des eaux marines a été étudiée par plusieurs chercheurs qui ont mis en évidence les taux d'érosion des rivages (Bruun, 1962; Hunter, 1975; Cronin, 1983), la migration des cordons de plage vers l'intérieur des terres (Greenwood et Davidson-Arnott, 1975; Bryant, 1978; Amon, 1979; Leatherman, 1983; Boyd *et al.*, 1987), l'instabilité des cordons littoraux (Bryant et McCann, 1973; McCann et Bryant, 1973; Reinson, 1980), l'envasement des marais (Clark et Patterson, 1985; Delaune *et al.*, 1986) et la paludification des bordures forestières (Clark, 1986a,b). Ces changements dans les écosystèmes naturels sont perceptibles dans l'état actuel des communautés littorales et de leur habitat, mais on ne dispose que de très peu d'information permettant de retracer les modalités de ces transformations. La hausse progressive du niveau du plan d'eau impose de nouvelles conditions de croissance des populations ligneuses supralittorales. Avec l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des perturbations qu'engendrent les vagues, les poussées glacielles et l'immersion dans des eaux saumâtres, les arbres dépérissent et présentent des anomalies remarquables de croissance secondaire, un phénomène se soldant par la progression lente d'un front de mortalité suivant le déplacement de la zone d'influence littorale vers l'intérieur des terres.

L'étude démographique des populations (Harper, 1977) et l'analyse dendrochronologique (Alestalo, 1971; Shroder, 1980) offrent la possibilité de dégager l'influence spatio-temporelle de ces perturbations et d'interpréter l'ensemble des circonstances physiques qui les entourent. Cette approche a porté fruit, notamment en permettant de reconstituer l'expansion des communautés forestières sur des côtes en émergence (Ericson, 1980; Cramer, 1985), mais les recherches portant sur le processus inverse, soit la succession régressive de la végétation des littoraux en immersion, sont plutôt rares (Clark, 1986a). Dans les deux situations, l'analyse de la répartition spatiale des arbres selon leur âge, leurs caractéristiques morphologiques et leurs variations de croissance secondaire permet d'interpréter la succession des événements marquant les ruptures d'équilibre de leur habitat.

C'est dans cette perspective qu'a été entreprise l'étude d'une bordure forestière dégradée par les actions littorales à la pointe Escuminac, sur la côte est du Nouveau-Brunswick dans le golfe du Saint-Laurent. Le but de l'étude est de mettre en évidence la séquence chronologique des changements écologiques et géomorphologiques qui affectent un rivage instable en période de transgression marine.

CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU CÔTIER

La pointe Escuminac (47°04' N, 65°48' O) est située à l'embouchure de la rivière Miramichi au centre est du Nouveau-Brunswick (fig. 1). La région a été entièrement recouverte de glace au Wisconsinien supérieur et la transgression marine a subséquentement remanié les dépôts sur une bande côtière d'une largeur d'environ 15 à 30 km du rivage actuel. Outre de rares placages de till mince remanié sur roc, la zone littorale est dominée par des sables marins et d'épaisses

tourbières ombrotrophes. Le rivage actuel est exposé aux longs fetchs du golfe du Saint-Laurent et est dominé par des plages de sable grossier, des lagunes protégées par des cordons littoraux, des marais, des tourbières à marge érodée et des falaises de grès vert appalachien. La saison glacielle dure de la mi-décembre à la mi-avril et le déglacement se produit généralement lors d'une tempête. D'importantes poussées glacielles se produisent alors et contribuent à éroder la frange côtière. Le régime marégraphique est de type microtidal semi-diurne (marnage maximal: 67 cm) et ses oscillations sont difficilement prévisibles en raison de la configuration de cette partie du golfe qui entraîne l'apparition occasionnelle d'un point amphidromique au large de la région étudiée. L'érosion des rivages s'effectue au gré des tempêtes qui occasionnent la création de vagues imposantes provenant principalement du nord-est (Hale et Greenwood, 1980). Il en résulte une dérive littorale de direction sud (Reinson, 1980).

Le climat régional est de type tempéré humide à hiver doux et neigeux et à été modéré et sec. Les brouillards côtiers sont rares et le climat conserve en grande partie l'empreinte continentale, étant dominé par une circulation en provenance de l'ouest et du sud-ouest, bien que les vents du quadrant est soient souvent violents. La température moyenne annuelle est de 4,9°C. Les précipitations annuelles sont en moyenne de 1050,7 mm, dont 29,3 % (308 cm) sous forme de neige, de décembre à avril (Environnement Canada, 1971). Le nombre de degrés-jours de croissance (> 5,6°C) varie entre 1400 et 1525 et la saison de croissance dure de 170 à 185 jours.

Les ensembles forestiers sont composés de peuplements mixtes de conifères, représentés par l'épinette rouge (*Picea rubens*), l'épinette blanche (*P. glauca*), l'épinette noire (*P.*



FIGURE 1. Carte de localisation de la région à l'étude.
Location map of the study area.

mariana), le sapin baumier (*Abies balsamea*) et le pin gris (*Pinus banksiana*); et de feuillus, principalement le bouleau gris (*Betula populifolia*) et le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*). L'érablière à érable rouge (*Acer rubrum*) et à bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*) occupe les sols bien drainés. On trouve aussi, en peuplements isolés, du pin banc (*Pinus strobus*), du hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia*) et de la pruche (*Tsuga canadensis*). Le paysage forestier résulte d'une longue histoire de feux dont la période de rotation moyenne établie sur la base du dernier millénaire est d'environ 230 ans (Wein et Moore, 1977) et de plusieurs épidémies de tordeuse des bourgeons des conifères (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)), dont deux au cours du dernier siècle (Brown, 1970; Blais, 1983). La bordure littorale étudiée est composée essentiellement d'un peuplement équien d'épinette rouge qui tient son origine d'un feu datant du début du siècle et qui a été envahi à deux reprises par la tordeuse des bourgeons, tout en subissant progressivement l'influence de la mer. La dynamique du peuplement associée à cet ensemble complexe de perturbations a ainsi suscité notre intérêt.

MÉTHODES

Afin de connaître la nature des changements récents survenus sur la côte et qui ont provoqué la dégradation de la bande forestière étudiée à la pointe Escuminac, nous avons procédé à l'analyse comparée des photographies aériennes de 1954 et de 1983 (échelle: 1/12000) d'une section littorale d'environ 12 km s'étalant vers le sud jusqu'à Pointe-Sapin, située à la limite nord du parc national de Kouchibouguac. Cette comparaison a permis de mesurer systématiquement, à intervalles de 50 m le long du trait de côte, les changements de position et de composition de la bande côtière en 29 ans. Les deux séries de photographies ont été prises à marée basse et, compte tenu des distorsions d'échelle, elles permettent des mesures d'une précision d'environ 2 mètres.

Le dépérissement d'un peuplement d'épinette, comprenant en majorité des individus morts *in situ*, a été étudié à l'intérieur de 3 bandes de 9 quadrats ayant chacun 100 m² de superficie et étant disposés parallèlement au rivage. Les arbres morts, les souches en place et les troncs flottés ont été cartographiés exhaustivement et une coupe transversale de chaque individu a été prélevée à la position du collet afin d'établir la structure d'âge de la population. L'altitude des arbres (hauteur du collet par rapport à une position connue du niveau marin) a été mesurée à l'aide d'un niveau électronique de type GDD, d'une précision de ± 1 cm par mètre de dénivellation. L'analyse des dates d'établissement et de mortalité des arbres a été effectuée selon leur exposition aux influences marines, définie par leur position sur le rivage. Une courbe de croissance radiale de chaque individu a été construite à partir de la mesure des cernes annuels à l'aide d'un micromètre Henson, d'une précision de 0,01 mm. Tous les arbres vivants ou morts, dressés ou couchés au sol, en place ou transportés ou encore déstabilisés par l'érosion des falaises ont été considérés dans l'analyse. Nous avons par ailleurs établi une courbe de croissance de référence à partir de 24 carottes prélevées à l'aide d'une sonde de Pressler dans 12 arbres localisés dans la zone supra-littorale à l'abri de l'influence marine. Cette courbe

a servi à l'interdatation des individus morts par l'analyse comparée de leurs patrons de croissance (Fritts, 1976). Les résultats servent à établir la vitesse de déplacement de la zone d'influence marine à partir de la réaction des plantes et de la réponse des populations ligneuses qu'une telle transgression suscite.

RÉSULTATS

TAUX DE REcul DU TRAIT DE CÔTE

Sur l'ensemble du trait de côte étudié (12 km), les tourbières occupent 32,8 % du territoire, les estrans rocheux et les falaises 26,5 %, les marais 21,8 % et les plages 18,9 %. Le taux moyen de recul de chaque type de rivage entre 1954 et 1983 a été respectivement de 1,40, 0,84, 1,25 et 0,82 m/an (fig. 2). Le déplacement total du trait de côte en 29 ans représente en moyenne $32,1 \pm 19,2$ m, soit un taux moyen de recul de 1,11 m/an. La configuration du réseau de drainage littoral a considérablement changé depuis 1954 (fig. 3A). Les marais et les plages progressent vers l'intérieur des terres aux dépens des tourbières et des bordures forestières qui se dégradent rapidement (fig. 3B et C). Dans la zone d'immersion continue de la pointe Escuminac, on trouve même les fondations d'anciens bâtiments d'une usine de traitement du poisson en exploitation au début du siècle et d'anciens chemins qui aboutissent maintenant directement à la mer.

RÉPARTITION DES ARBRES SUR LE RIVAGE

La population forestière étudiée occupe la marge d'une tourbière à sphaignes et à éricacées qui est envahie progressivement par un cordon de plage. Les arbres morts se situent à moins d'un mètre d'altitude au-dessus du niveau moyen des mers (fig. 4). Trois générations de subfossiles d'arbres d'âges différents s'y trouvent. 1) La première est représentée par des souches en place bien conservées ayant livré des âges au radiocarbone de 4670 ± 120 (UL-378), 4780 ± 90 (UL-379), 4870 ± 90 (UL-380) et 4880 ± 90 ans BP (UL-381). Il s'agit d'une ancienne forêt mixte de feuillus et de conifères tapissant le substrat minéral à la base de la séquence tourbeuse. Plusieurs de ces souches n'ont pas été délogées et se trouvent *in situ* dans la zone d'immersion actuelle. 2) La partie supérieure de la séquence tourbeuse comprend d'autres souches mal conservées d'âge moderne. 3) La troisième génération est composée d'arbres morts encore en place et formant la marge dégradée de la forêt actuelle. La densité moyenne du peuplement est de 1,2 arbres au mètre carré et ne semble pas être affectée par le gradient topographique ou la proximité du plan d'eau, bien que peu d'arbres dressés demeurent dans la zone d'ensablement (fig. 5). La proximité du plan d'eau ne semble donc pas avoir influencé la dynamique d'établissement des arbres, bien que la transgression marine empêche aujourd'hui la régénération au même endroit.

DATES D'ÉTABLISSEMENT ET DE MORTALITÉ DES ARBRES

Les patrons de croissance des épinettes mortes (N = 251) ont été interdatés à l'aide d'une courbe de référence construite

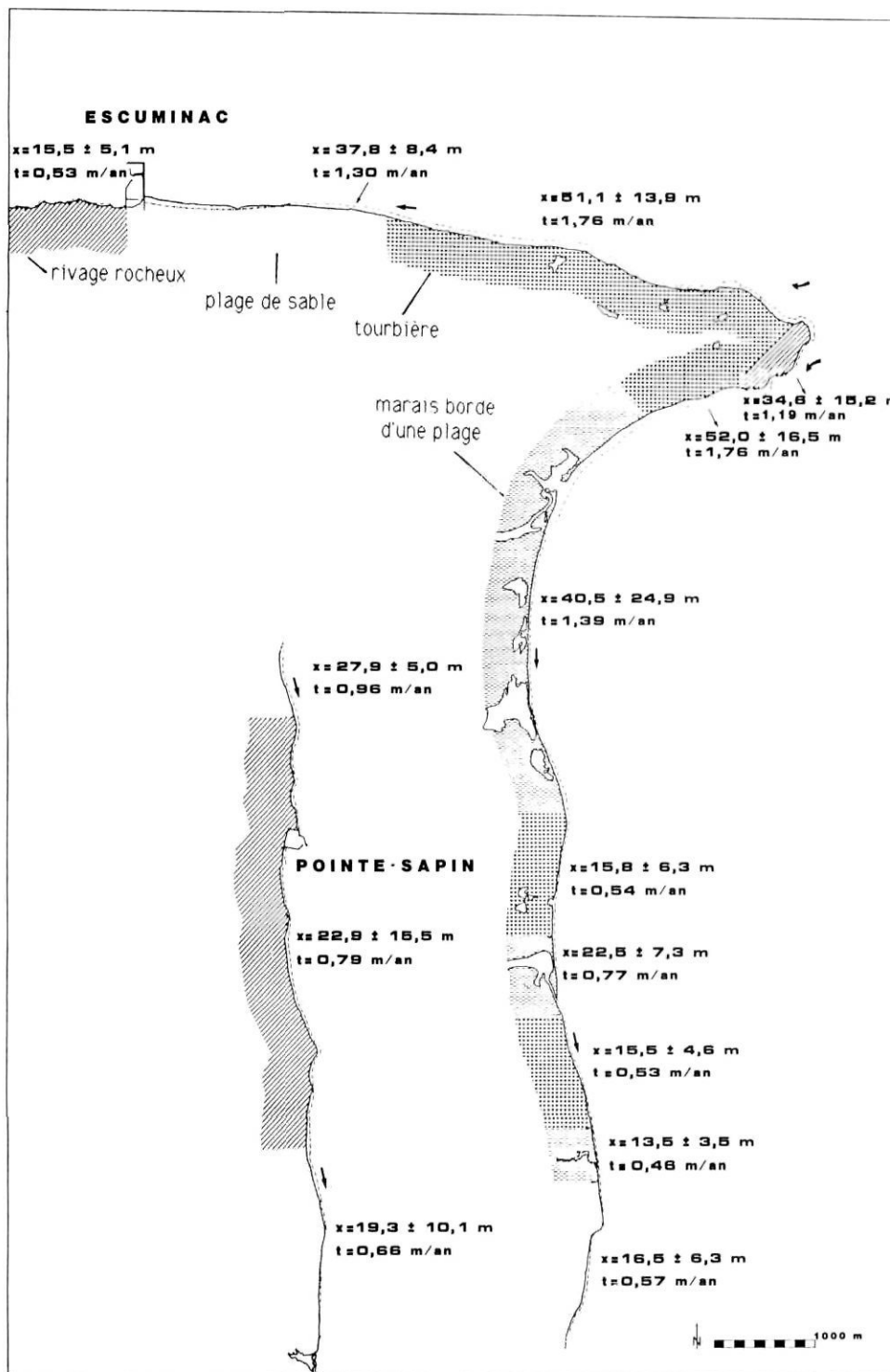


FIGURE 2. Taux de recul de la ligne de rivage. Le trait pointillé indique la position du trait de côte en 1954 par rapport à celle de 1983 en trait continu. Les mesures du déplacement du rivage, calculées par intervalles de 50 m, sont indiquées. X: déplacement total moyen en 29 ans; t: taux moyen annuel de recul. Les flèches en trait gras indiquent le sens de la dérive littorale.

Rates of shoreline displacement. Shoreline position in 1954 (dotted line) and in 1983 (solid line) are indicated. Amounts of shoreline displacement are based on systematic measures taken at 50-metre intervals. X: Mean of total displacement over the 1954-83 period (29 years); t: Mean annual rate. Dark arrows indicate the direction of littoral drift.

à partir d'arbres de la même espèce ($N = 12$) vivant dans la zone actuellement abritée de l'influence du plan d'eau. La courbe étalon présente deux anomalies correspondant à deux épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette qui ont affecté tout le peuplement autour de 1914-17 et de 1954-58 (fig. 6). La défoliation lente occasionne une baisse de croissance significative étalée sur 3 ou 4 ans et une reprise ac-

compagnant le rétablissement de l'appareil foliaire des arbres (Blais, 1958). Ces deux épidémies ont fourni d'excellents marqueurs permettant la datation de la mortalité de 59 arbres (24 % de l'ensemble) et l'établissement de 44 arbres (18 %). Le taux de rejet des échantillons (76 %) est faible si l'on considère la courte longévité (max.: 120 ans) des arbres étudiés. Il est généralement impossible de déterminer la date

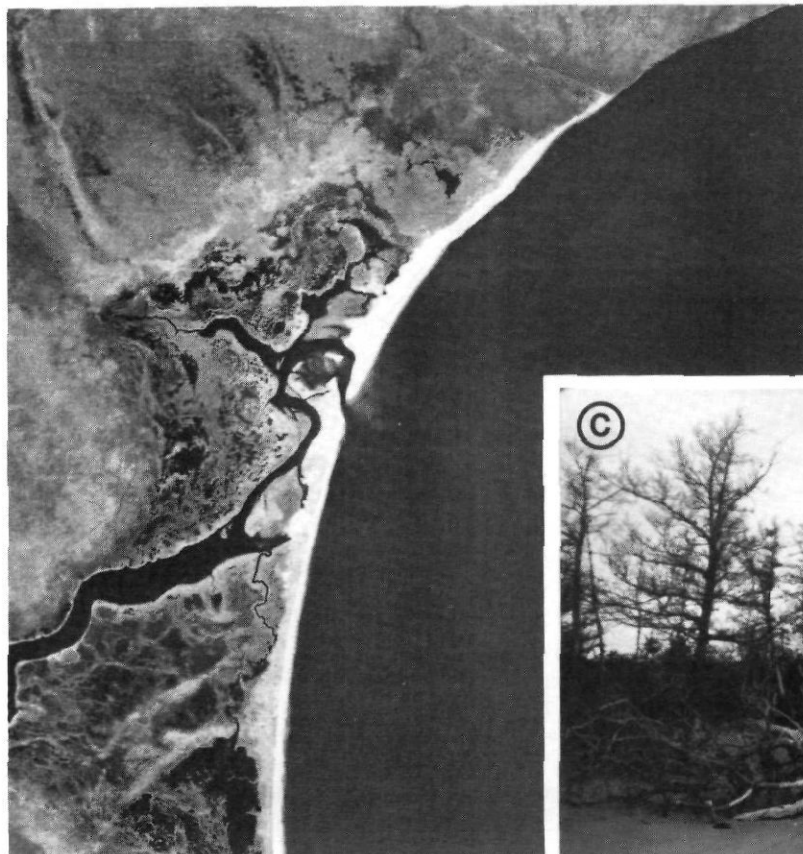
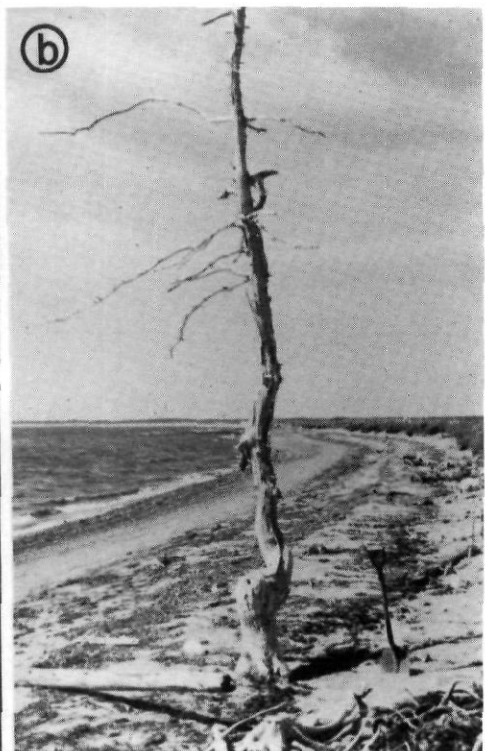


FIGURE 3. A) Photographies aériennes de 1954 et de 1983 illustrant la transformation du réseau de drainage littoral et la migration d'un cordon de plage vers l'intérieur des terres. B) Subfossile d'épinette sur une plage de sable à la pointe Escuminac. C) Bordure forestière érodée par les vagues et les glaces flottantes dans la région de Pointe-Sapin.

A) Aerial photographs taken in 1954 and 1983 showing changes in the drainage pattern and a landward migration of a beach crest. B) Subfossil of a spruce tree located on a sandy beach at Pointe Escuminac. C) Wave- and ice-eroded forest margin in the Pointe-Sapin area.



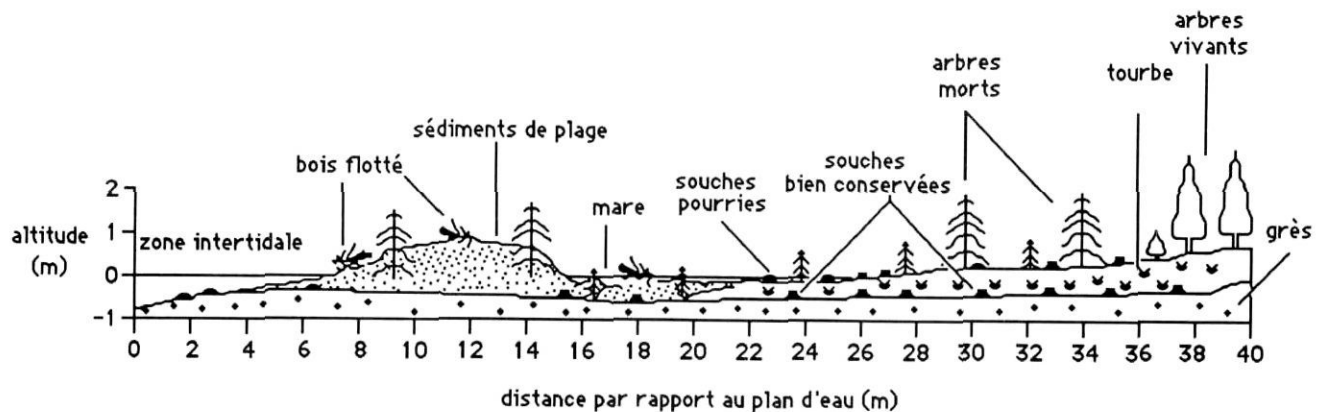


FIGURE 4. Profil topographique du rivage étudié.

Cross-section representation of the study site.

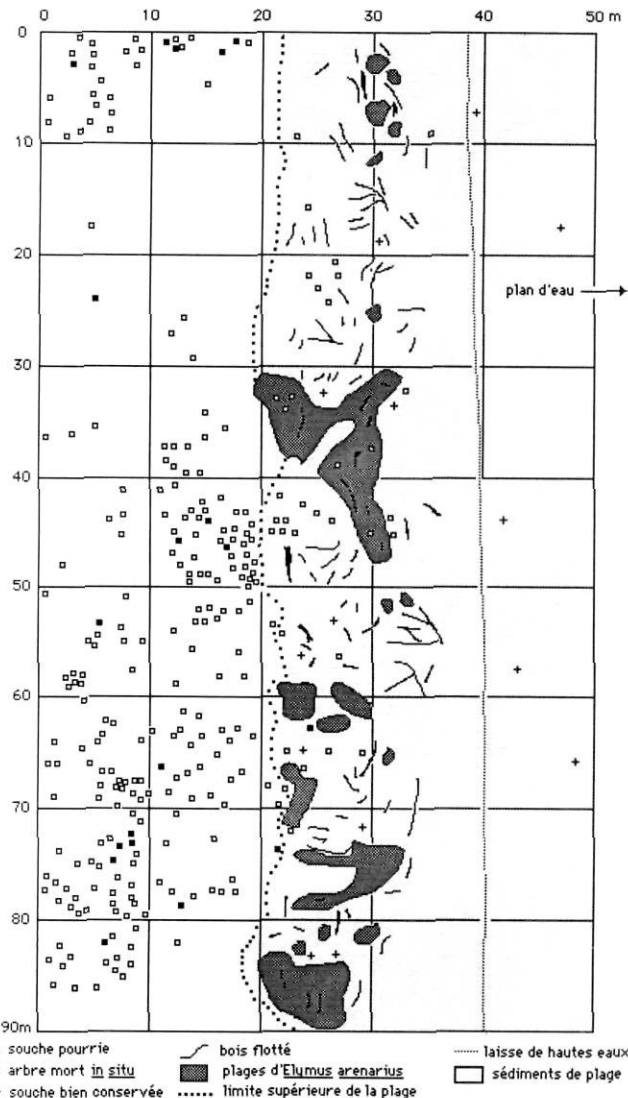


FIGURE 5. Croquis de la bordure forestière étudiée.

Sketch of the study forest margin.

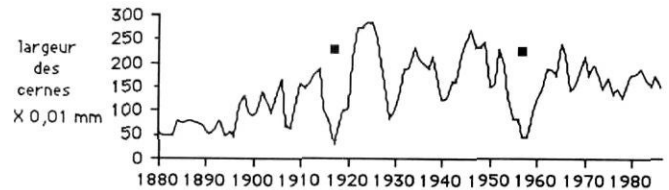


FIGURE 6. Courbe de croissance secondaire d'une population d'arbres de référence (N=12). Les carrés noirs indiquent les épidémies de tordeuse.

Radial growth curve of a reference population of trees (N=12). Black squares indicate budworm infestations.

d'établissement d'arbres présentant un faible nombre de cernes annuels ou dont une partie du duramen est atteinte par la carie.

Les dates d'établissement du peuplement forestier donnent une structure d'âge équiennne (fig. 7) datant d'un incendie survenu en 1889 ou en 1892, comme le révèlent les dates de cicatrices de feu trouvées sur deux arbres en périphérie du peuplement étudié. La régénération a cessé au cours des années 1920 et a été suivie, à partir des années 1950, d'une importante mortalité qui caractérise aujourd'hui toute la bande forestière.

CROISSANCE DES ARBRES SELON LEUR POSITION SUR LE RIVAGE

Selon leur position sur le rivage, les arbres ont adopté deux types principaux de patron de croissance secondaire. Le premier est celui des arbres morts *in situ*. Ceux-ci avaient une croissance initiale généralement bonne, mais la majorité a connu une diminution importante de l'accroissement radial, probablement associée à l'épidémie de 1915-17, suivie d'un regain de vitalité (fig. 8A). Certains arbres accusent une baisse de croissance subséquente, probablement associée à l'influence du plan d'eau. Les arbres sont morts en majorité lors de la deuxième épidémie, soit en 1954-58 (42/59), mais quelques rares individus ont survécu durant une quinzaine d'années. Le deuxième type de patron correspond à celui

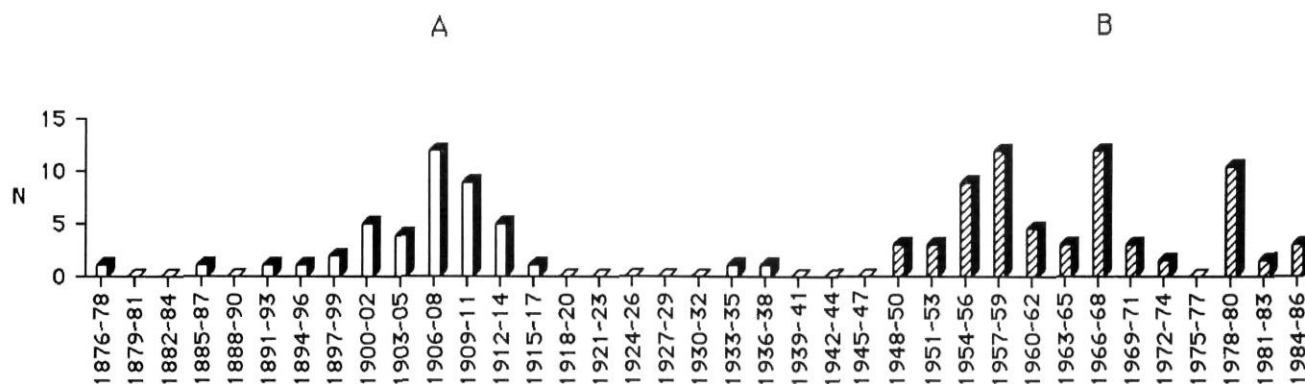


FIGURE 7. Dates d'établissement (A) et de mortalité (B) des arbres étudiés. *Dates of establishment (A) and mortality (B) of the studied trees.*

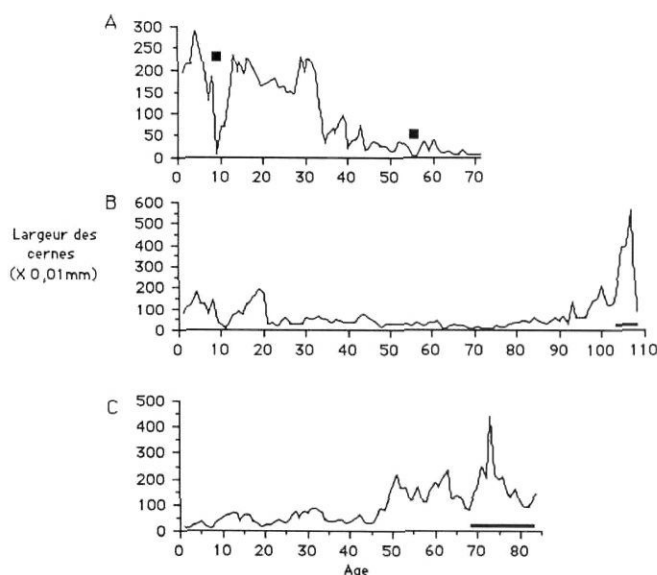


FIGURE 8. Exemples de courbes de croissance radiale d'arbres selon leur position sur le rivage. A: Épinette morte sur place accusant une baisse importante de croissance entre deux épidémies de tordeuse (carrés noirs). B: Mélèze localisé au sommet d'une falaise de tourbe de 4 m de hauteur. C: Tronc de conifère flotté. Les traits horizontaux indiquent la présence de bois de réaction.

Examples of radial growth curves of trees according to their position along the shoreline. A: Dead spruce showing a drastic change in growth between two budworm infestation episodes (black squares). B: Larch tree lying at the top of a 4 meter active cliff in peat bug materials. C: Drift trunk of a coniferous tree. Horizontal lines indicate reaction wood.

des arbres occupant le sommet d'une falaise active taillée dans la tourbe (fig. 8B). Ceux-ci ont connu une croissance initiale particulièrement lente ($<0,5$ mm/an). Le recul du front d'érosion occasionne le drainage de la marge tourbeuse qui se traduit par une amélioration de la croissance des arbres qui l'occupent. À moins de 3 m de la paroi, ils se trouvent déstabilisés par la perte de substrat et l'arbre réagit en formant du bois de réaction accompagnant le redressement de l'apex de son tronc basculé. La formation du bois de réaction est récente dans la majorité des cas (moins de 10 ans), bien que l'influence du plan d'eau ait affecté la croissance des arbres quelques années antérieurement. Le recul ultérieur de la falaise

entraîne la prise en charge des troncs d'arbre qui s'échouent sur les plages. Le bois flotté a ainsi le même patron de croissance que celui observé chez les arbres déstabilisés occupant le sommet des falaises vives (fig. 8C).

Vingt-cinq arbres morts sur place et généralement situés dans de petites dépressions dans la tourbière, présentaient une très forte baisse de croissance entre les deux invasions de tordeuses (fig. 9). Leur établissement s'est effectué au hasard des niches favorables. Tous les arbres vivants en 1914-18 ont été défoliés par la tordeuse et ont subséquemment reconstruit leur appareil foliaire leur permettant de regagner en moins de 10 ans des taux d'accroissement radial comparables à leur croissance initiale. Il n'existe pas de véritable relation entre la distance des arbres par rapport au plan d'eau et le moment où ils ont connu une nouvelle baisse considérable de croissance (coefficient de corrélation de rang de Spearman, $r_s=0,36$, significatif au seuil de 0,05). La relation apparaît plus nette avec l'altitude ($r_s=0,66$, significatif au seuil de 0,01). Par ailleurs, il n'existe pas de lien significatif entre, d'une part, la distance au plan d'eau et l'altitude, et, d'autre part, les dates de mortalité des arbres, bien que quelques arbres occupant les positions les plus éloignées du plan d'eau soient morts récemment.

DISCUSSION

ÉLÉVATION DU NIVEAU MARIN ET REcul DE LA CÔTE

La dynamique du littoral étudié s'inscrit dans un ensemble d'événements survenus sur la côte au cours de l'Holocène supérieur. Après l'émersion postglaciaire des terres qui avait occasionné le retrait de la Mer de Goldthwait, les eaux ont connu une nouvelle transgression sur la marge continentale qui n'a pas encore atteint l'extension maximale de la mer dans le détroit de Northumberland (zone B du modèle de Quinlan et Beaumont, 1981, revu par Scott et al., 1987). Au maximum de l'émersion des terres, le trait de côte se situait à près de 20 km de sa position actuelle et à une profondeur d'au moins 15 m sous le présent niveau de la mer (McRoberts, 1968; Krank, 1972). La nouvelle transgression daterait d'environ 7000 ans BP (Krank, 1972). La présence de souches d'arbres, à plusieurs mètres sous le niveau des marées hautes actuelles dans le golfe du Saint-Laurent et ailleurs dans la

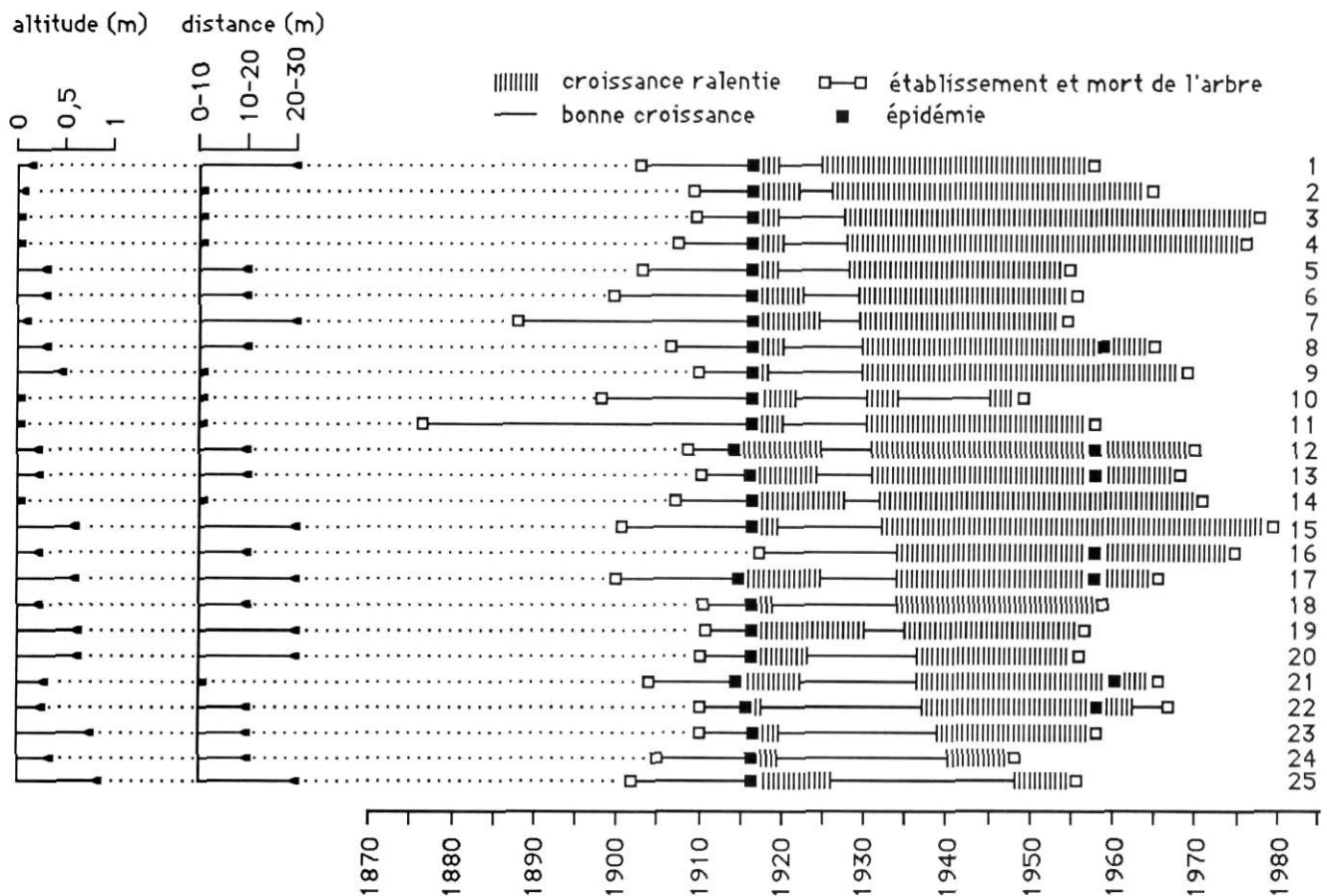


FIGURE 9. Dates d'établissement, de mortalité et des baisses importantes de croissance de 25 arbres morts *in situ* au sein de la bordure forestière. L'altitude du collet des arbres et leur distance par rapport au niveau moyen de la mer sont aussi indiquées.

Dates of establishment, mortality and significant down-growth of 25 trees located in the sampled area. The altitude of the collar position and the distance of trees from the actual mean sea level shoreline are also shown.

baie de Fundy, souligne l'amplitude de la transgression marine (Dawson, 1856; Lyon et Goldthwait, 1934; Frankel et Crowl, 1961; Harrison et Lyon, 1963; Grant, 1970). Scott *et al.* (1987) ont étudié les variations du niveau du détroit de Northumberland survenues à l'Holocène à l'aide de la datation d'horizons organiques immergés et des séquences de foraminifères. Leurs travaux font ressortir des taux variables d'immersion depuis 5400 ans BP, les trois derniers millénaires étant caractérisés par une submergence de 10 à 15 cm par siècle. Brookes *et al.* (1985) ont estimé le taux à environ 7 cm par siècle depuis 2400 ans BP à Terre-Neuve.

La transgression des eaux marines sur la côte se poursuit actuellement à un taux variant de 10 à 55 cm/siècle selon les mesures effectuées à différentes localités entre New York et Terre-Neuve (tabl. I), ce qui semble correspondre à la tendance générale à l'échelle mondiale, soit de 10 à 30 cm/siècle (Emery, 1980; Gornitz *et al.*, 1982; Bird, 1981, 1985; Pirazzoli, 1977, 1986). Conséquemment, la progression du front d'érosion littorale est particulièrement rapide et provoque une profonde transformation des systèmes géomorphologiques et écologiques des côtes. Cette régression de la côte, à un rythme annuel dépassant le mètre, caractérise l'ensemble des rivages du Nouveau-Brunswick (Hunter, 1975). Des taux

de régression comparables sont aussi observés ailleurs sur la côte est américaine (Bruun, 1962). Le long de l'estuaire du Saint-Laurent, ils atteignent de 2 à 4 m/an à l'emplacement des marais littoraux (Dionne, 1986). Les vitesses maximales de recul sont généralement observées à l'emplacement de rives en pente douce, qui nécessitent en maints endroits des travaux de stabilisation. Bien que l'on puisse supposer que la transgression des eaux marines dans le golfe du Saint-Laurent soit la cause principale du recul des côtes par érosion, le processus répond à un ensemble complexe de facteurs dont l'importance peut varier selon les milieux (Dionne, 1986). Des variations dans le régime marégraphique (Grant, 1970) et des changements dans l'importance et la fréquence des tempêtes (Hale et Greenwood, 1980) pourraient avoir contribué à accentuer les effets de l'érosion entraînée par la hausse progressive du niveau marin.

ÉVOLUTION DE LA BORDURE FORESTIÈRE

En raison de l'ampleur de la transgression de la nappe d'eau sur la côte, la régression des bordures forestières a laissé des repères dendrochronologiques permettant de retracer les étapes du déplacement de la zone littorale active vers l'intérieur des terres. La dégradation de la forêt riveraine

TABLEAU I

Taux de submersion récente à quelques localités de la côte nord-est des États-Unis et des rivages des Maritimes

Localité	Période	Auteurs	Tendance estimée (cm/100 ans)
Saint John, Nouveau-Brunswick	1941-82	El-Sabh et Murty, 1986	10
	1941-68	Grant, 1970	46
	1894-1949	Disney, 1954	12
	1929-79	Pirazzoli, 1986	38
Port-aux-Basques, Terre-Neuve	1959-81	Forbes, 1984	55 ± 20
Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard	1930-68	Grant, 1970	26
	1912-74	Pirazzoli, 1986	29
Baie Verte, Nouveau-Brunswick	non mentionnée	Scott <i>et al.</i> , 1987	15
Halifax, Nouvelle-Écosse	1920-76	Hillaire-Marcel <i>et al.</i> , 1981	40
	1920-68	Grant, 1970	41
	1920-80	Pirazzoli, 1986	39
Eastport, Maine	1930-79	Hicks <i>et al.</i> , 1983	31
Portland, Maine	1912-80	Hicks <i>et al.</i> , 1983	23
Portsmouth, New York	1927-80	Hicks <i>et al.</i> , 1983	20
Boston, Massachusetts	1921-80	Hicks <i>et al.</i> , 1983	23
Woods Hole, Massachusetts	1933-80	Hicks <i>et al.</i> , 1983	27
Newport, Rhodes Island	1931-80	Hicks <i>et al.</i> , 1983	26
Providence, Rhodes Island	1939-80	Hicks <i>et al.</i> , 1983	18
New London, Connecticut	1938-77	Hicks <i>et al.</i> , 1983	22
Willeys Point, New York	1932-80	Hicks <i>et al.</i> , 1983	22
New York, N.Y.	1893-80	Hicks <i>et al.</i> , 1983	28

d'épinettes rouges de la pointe Escuminac est la résultante d'un ensemble de perturbations successives. Les unes sont directement associées à l'influence de la nappe d'eau (immersion par les eaux marines ou ralentissement du drainage sub-littoral) et les autres, qui ne s'y rapportent aucunement (feu, défoliation par les insectes), permettent de fixer des repères dendrochronologiques aux changements reliés à l'habitat littoral.

La dégradation de la forêt étudiée peut être résumée en cinq étapes (fig. 10):

- 1) La forêt d'origine résulte d'un feu datant du début du siècle (1889 ou 1892). La régénération a été bonne malgré les conditions de croissance difficiles que présente l'habitat tourbeux.
- 2) La strate de régénération a été envahie par la tordeuse entre 1914 et 1917, soit peu de temps après l'incendie. À la suite de ces deux perturbations, il est demeuré, à la surface de la tourbière, des souches aujourd'hui mal conservées.
- 3) Entre 1917 et 1954, la migration du cordon de plage vers la bordure forestière a contribué à limiter le drainage de la tourbière. La saturation en eau des micro-dépressions a alors provoqué une baisse de croissance chez les arbres qui s'y trouvaient. Un bon nombre d'entre eux sont probablement morts avant d'être directement atteints par les eaux saumâtres, bien que certains soient morts spontanément en période de bonne croissance, ce qui laisse présager l'influence du sel de mer. Paradoxalement, les arbres situés en bordure des falaises taillées dans une

autre partie de la tourbière ont plutôt profité d'une meilleure croissance, en raison de l'assèchement progressif du substrat avec la progression du front d'érosion. Leur mortalité et leur transport subséquents sont reliés directement à l'action mécanique des vagues.

- 4) Entre 1954 et 1958, la forêt en dépérissement a de nouveau été envahie par la tordeuse, tuant alors la majorité des arbres encore vivants.
- 5) Entre 1958 et 1986, le front de mortalité a gagné peu à peu les arbres occupant les positions distales dans la bande forestière et l'accroissement de l'humidité du sol a empêché littéralement la régénération.

Par ailleurs, le cordon de plage en progression est venu ensevelir la marge de la zone tourbeuse, préservant ainsi les subfossiles d'arbres de toute génération. Cette progression a été telle que, dans la zone intertidale actuelle, se trouvent les souches bien enracinées de la forêt tapissant la base de la tourbière. Les sédiments sableux et tourbeux ayant été repris en charge dans le processus de migration de la zone littorale. L'origine, la composition et la structure de ces vieilles forêts demanderaient une analyse plus approfondie, mais leur position actuelle traduit un déplacement récent de grande amplitude de la frange littorale dans la poursuite de la transgression marine ayant caractérisé une grande partie de l'histoire de la côte à l'Holocène.

L'étude des transformations au sein de la population forestière littorale de la pointe Escuminac souligne l'importance des changements écologiques accompagnant les variations du niveau marin. Bien que les conséquences d'ordre géo-

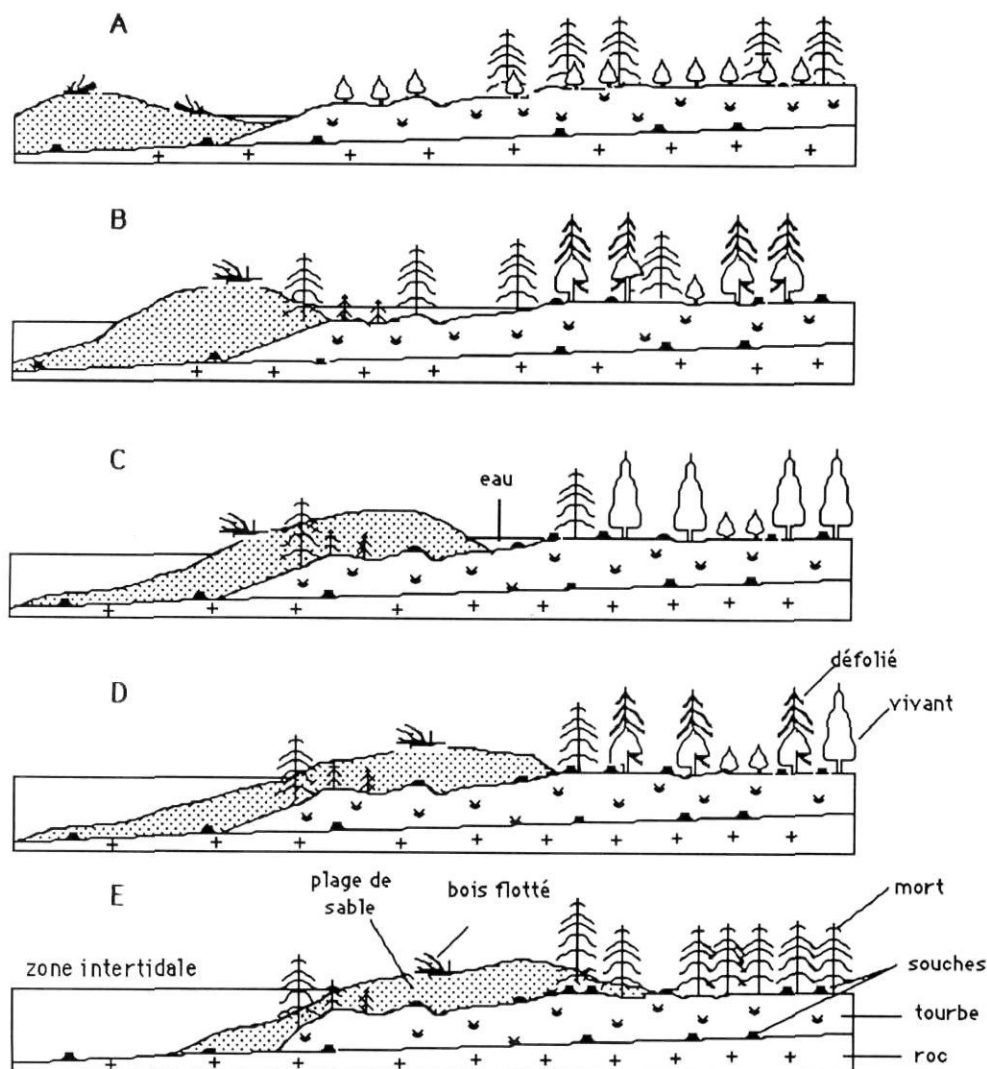


FIGURE 10. Représentation schématique de la séquence des transformations de la forêt et du déplacement du rivage au cours du dernier siècle. A) Début 1900: forêt en régénération après feu. B) 1914-17: forte mortalité attribuable à une invasion de tordeuse. C) 1917-54: Immersion progressive de la bordure forestière. D) 1954-58: nouvelle épidémie de tordeuse. E) 1958-86: forte mortalité attribuable à la transgression des eaux marines.

Sketch showing the change sequences within the shoreline habitat over this century. A) Early 1900: Post-fire regenerating forest. B) 1914-17: Increased mortality caused by a budworm infestation. C) 1917-54: Progressive drowning of the tree margin. D) 1954-58: Budworm infestation. E) 1958-86: Increased mortality caused by marine transgression.

morphologique de la transgression des eaux marines sur la marge continentale aient été passablement bien documentées, peu de travaux ont porté sur leur influence sur la dynamique des forêts littorales (Clark, 1986a). Dans les secteurs en pente douce au drainage difficile, l'habitat forestier subit des changements bien avant que les eaux marines n'atteignent directement les arbres. Ces transformations, repérées par l'analyse dendrochronologique et l'étude de la structure des populations, ont une origine exogène et traduisent le caractère imprévisible de la succession écologique, guidée par des pressions de l'environnement physique (Clark et Patterson, 1985; Clark 1986a,b). Comme dans la majorité des écosystèmes, les perturbations exercent un important rôle sélectif conférant une grande instabilité aux populations et aux communautés (Sousa, 1984). Bien que les possibilités de reconstitution puissent être limitées par la longévité des arbres en place, l'analyse intégrée des événements d'ordre géomorphologique et écologique associés à la migration d'un trait de côte apparaît comme une approche qui peut être féconde, puisqu'elle permet de mieux cerner les circonstances

physiques entourant la dynamique d'ensemble de la zone littorale dans une phase de transgression marine.

REMERCIEMENTS

Cette contribution s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche subventionné par le ministère de l'Éducation du Québec (programme FCAR), l'Université de Moncton (programme de soutien à la recherche) et l'Université Laval (programme de soutien à la recherche des nouveaux professeurs). Nous remercions Luc Cournoyer et Christian Wolfe pour avoir participé aux travaux de terrain et Dominique Langlais pour son aide en laboratoire. Les commentaires critiques de Jean-Claude Dionne (Université Laval) et de Paul Comtois (Université de Montréal) ont été très appréciés.

RÉFÉRENCES

- Alestalo, J., 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia*, 105, 140 p.

- Armon, J. W., 1979. Landward sediment transfers in a transgressive barrier island system, Canada, p. 65-80. In S. P. Leatherman, éd., Barrier islands from the Gulf St. Lawrence to the Gulf of Maine. Academic Press.
- Bird, E. C. F., 1981. World-wide trends in sandy shoreline changes during the past century. *Géographie physique et Quaternaire*, 35: 241-244.
- 1985. *Coastline changes: A global review*. Wiley, New York, 219 p.
- Blais, J. R., 1983. Trends in the frequency, extent, and severity of budworm outbreaks in Eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 13: 539-547.
- 1958. Effects of defoliation by spruce budworm on radial growth at breast height of balsam fir and white spruce. *Forestry Chronicle*, 34: 39-47.
- Boyd, R., Bower, A. J. et Hall, R. K., 1987. An evolutionary model for transgressive sedimentation on the eastern shore of Nova Scotia, p. 87-114. In D. M. Fitzgerald et P. S. Rasen, éd., *Glaciated coasts*. Academic Press, London.
- Brookes, I. A., Scott, D. B. et McAndrews, J. H., 1985. Postglacial relative sea-level change, Port au Port area, west Newfoundland. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 22: 1039-1047.
- Brown, C. E., 1970. A cartographic representation of spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)) infestation in eastern Canada, 1909-1966. Canadian Forest Service Report 1263.
- Bruun, P., 1962. Sea level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Waterways and Harbors Division, American Society of Civil Engineers*, 88: 117-130.
- Bryant, E. A., 1978. Wave climate effects upon changing barrier Island morphology, Kouchibouguac Bay, New Brunswick. *Maritime Sediments*, 14: 49-62.
- Bryant, E. A. et McCann, S. B., 1973. Long and short term changes in the barrier islands of Kouchibouguac Bay, southern Gulf of St. Lawrence, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 10: 1582-1590.
- Clark, J. S., 1986a. Coastal forest tree populations in a changing environment, southeastern Long Island, New York. *Ecological Monographs*, 56: 259-277.
- 1986b. Late-Holocene vegetation and coastal processes at a Long Island tidal marsh. *Journal of Ecology*, 74: 561-578.
- Clark, J. S. et Patterson, W. A., 1985. The development of a tidal marsh: upland and oceanic influences. *Ecological Monographs*, 55: 189-217.
- Cramer, W., 1985. The effect of sea shore displacement on population age structure of coastal *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. *Holarctic Ecology*, 8: 265-272.
- Cronin, T. M., 1983. Rapid sea level and climate change: evidence from continental and island margins. *Quaternary Science Review*, 1: 177-214.
- Dawson, J. W., 1856. On a modern submerged forest at Fort Lawrence, Nova Scotia. *American Journal of Science, Ser. 2*, 21: 440-442.
- Delaune, R. D., Smith, C. J. et Patrick, W. H., Jr., 1986. Sedimentation patterns in a gulf coast backbarrier marsh: response to increasing submergence. *Earth Surface Processes and Landforms*, 11: 485-490.
- Dionne, J.-C., 1986. Érosion récente des marais intertidaux de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 40 (3): 307-323.
- Disney, L. P., 1954. Report on the investigation of the secular variation of sea level along the coasts of America, the Hawaiian and Philippine Islands, and Japan. Association d'océanographie physique, Publication scientifique, 13: 11-15.
- El-Sabh, M. I. et Murty, T. S., 1986. Seasonal and long-term sea level variations in the Atlantic coast of Canada. *Marine Geodesy*, 10: 295-308.
- Emery, K. O., 1980. Relative sea levels from tide-gauge records. *Proceedings of the Natural Academy of Science (Washington), Serie Geology*, 77: 6968-6972.
- Environnement Canada, 1971. *Sommaire des températures et des précipitations, 1941-70, Provinces atlantiques*. Service météorologique canadien, Downsview, Ontario.
- Ericson, L., 1980. The downward migration of plants on a rising Bothnian sea-shore p. 61-72. In E. Sjögren, éd., *Studies in Plant Ecology, dedicated to Hugo Sjös*. Acta phytogeographica Suecica, 68.
- Forbes, D. L., 1984. Coastal geomorphology and sediments of Newfoundland, p. 11-24. In *Current Research, part B. Geological Survey of Canada, Paper 84-1B*.
- Frankel, C. N. et Crowl, G. H., 1961. Drowned forests along the eastern coast of Prince Edward Island, Canada. *Journal of Geology*, 69: 352-357.
- Fritts, H. C., 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London/Orlando, 567 p.
- Gornitz, V., Lebedeff, S. et Hansen, J., 1982. Global sea level trend in the past century. *Science*, 215: 1611-1614.
- Grant, D. R., 1970. Recent coastal submergence of the maritime provinces, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 7: 676-689.
- Greenwood, B. et Davidson-Arnott, R. G. D., 1975. Marine bars and nearshore sedimentary processes, Kouchibouguac, N.-B., Canada, p. 123-150. In J. Hails and A. Carr, éd., *Nearshore sediment dynamics and sedimentation*. Wiley, London.
- Hale, P. B. et Greenwood, B., 1980. Storm wave climatology: a study of the magnitude and frequency of geomorphic process, p. 73-88. In S. B. McCann, éd., *The coastline of Canada, littoral processes and shore morphology*. Geological Survey of Canada, Paper 80-10.
- Harrison, W. et Lyon, C. J., 1963. Sea-level and crustal movements along the New England-Acadian shore 4500-3000 years BP. *Journal of Geology*, 71: 96-108.
- Harper, J. L., 1977. *Population biology of plants*. Academic Press, London, 392 p.
- Hicks, S. D., Debaugh, H. A., Jr. et Hickman, L. E., Jr., 1983. Sea level variations for the United States 1855-1980. Rockville, Maryland, NOAA, National Ocean Service, 170 p.
- Hillaire-Marcel, C., Occhietti, S., Marchand, L. et Rajewicz, R., 1981. Analysis of recent climatic changes in Québec, some preliminary data. *Syllogeus*, 33: 28-47.
- Hunter, G. T., 1975. Beach resources and quarries, eastern New Brunswick. Airphoto Analysis Associates Consultants Ltd, Toronto, 215 p.
- Krank, K., 1972. Geomorphological developments and post-Pleistocene sea level changes, Northumberland Strait, Maritime provinces. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 9: 835-844.
- Leatherman, S. P., 1983. Barrier dynamics and landward migration with Holocene sea-level rise. *Nature*, 301: 415-418.

- Lyon, C. J. et Goldthwait, J. W., 1934. An attempt to cross-date trees in drowned forests. *Geographical Review*, 24: 605-614.
- McCann, S. B. et Bryant, E. A., 1973. Beach changes and wave conditions, New Brunswick. Proceedings of the 13th Conference on Coastal Engineering, Vancouver, American Society of Civil Engineers, New York, p. 1293-1304.
- McRoberts, J. H. E., 1968. Post-glacial history of Northumberland Strait based on benthic foraminifera. *Maritime Sediments*, 4: 88-95.
- Pirazzoli, P. A., 1977. Sea level relative variations in the World during the last 2000 years. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 21(3): 284-296.
- 1986. Secular trends of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide-gauge records. *Journal of Coastal Research*, 2: 1-26.
- Quinlan, G. et Beaumont, C., 1981. A comparison of observed and theoretical postglacial relative sea level in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18: 1146-1163.
- Reinson, G. E., 1980. Variations in tidal-inlet morphology and stability, Northeast New Brunswick, p. 23-39. In S. B. McCann, édit., *The coastline of Canada, littoral processes and shore morphology*. Geological Survey of Canada, Paper 80-10.
- Scott, D. B., Medioli, F. S. et Miller, A. A. L., 1987. Holocene sea levels, paleoceanography, and late glacial ice configuration near the Northumberland Strait, Maritime provinces. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 24: 668-675.
- Shroder, J. F., Jr., 1980. Dendrogeomorphology: A review and new techniques of tree-ring dating. *Progress in Physical Geography*, 4: 161-188.
- Sousa, W. P., 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15: 353-391.
- Wein, R. W. et Moore, J. M., 1977. Fire history and rotations in the New Brunswick Acadian Forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 7: 285-294.